Vol.11, No.3, Fall 2022, pp.225-249 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2021.67237.0 Open access

Investigating the Role of Interaction between Cut-Off Low Coupled Patterns and Polar Front Jet Stream in Heavy Rainfall of April 2019 in Lorestan Province

Koohzad Raispour[a*], Hossein Asakereh[b]

[a] *Assistant Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran*
[b] *Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran*

Received: 21 November 2020 ***Revised: 22 January 2021*** ***Accepted: 6 February 2021***

Abstract

Heavy rainfalls are considered as a risk factor in the occurrence of floods and continuously cause irreparable damages in most areas, including Lorestan province. This study explored the role of interaction between Cut-Off Low (COL) coupled patterns and Polar Front Jet Stream (PFJS) in heavy rainfall event of April 2019 in Lorestan province. In order to achieve this goal, daily atmospheric monitoring parameters (pressure maps, temperature, wind, vorticity, relative humidity, etc.) NCEP/NCAR database with a spatial resolution of 2.5 degrees was used to identify the effective synoptic patterns on the meteorological condition of the studied area, GFS global numerical model overlay maps with a spatial resolution of 13 km was used to compare wind flow with the studied parameters, TRMM satellite precipitation data with a spatial resolution of 0.25 degrees was used to monitor the spatial distribution of precipitation, and observation data of Khorramabad meteorological station based on synoptic meteorological codes were used to analyze the weather conditions during heavy rainfall events. The obtained results show the instability and rise of moist air due to the two forcings of the COL and the PFJS and the convergence of moist currents from three moisture centers of the northern Indian Ocean, the Red Sea, and the eastern Mediterranean. These features provided the synoptic-dynamic conditions necessary for the occurrence of heavy rainfall. However, many other environmental factors like the saturation of the surface layer of the soil due to the high amount of precipitation in the days before the flood have played a role in the aggravation of the said flood.

Keywords: Heavy Rainfall, COL, PFJS, Synoptic and Dynamic Analysis, Lorestan Province

---

*. Corresponding author: Koohzad Raispour E-mail: Raispour@znu.ac.ir Tel: +98916073187

How to cite this Article: Raispour, K., Asakereh, H. (2022). Investigating the role of interaction between Cut-Off Low coupled patterns and Polar Front Jet Stream in heavy rainfall of April 2019 in Lorestan province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 225-249.
DOI:10.22067/geoeh.2021.67237.0

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و سوم، پاییز ۱٤۰۱، صص ۲٤۹-۲۲۵

مقاله پژوهشی

بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین‌ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان

کوهزاد رئیس پور[1] – استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
حسین عساکره – استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۹/۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۱۱/۳ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۱۱/۱۸

چکیده

بارش‌های سنگین به‌عنوان عامل مخاطره‌آمیز در بروز سیل، به‌طور مداوم خسارت‌های جبران‌ناپذیری در بیشتر مناطق، ازجمله استان لرستان وارد می‌کند. در این پژوهش به بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین‌ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان پرداخته شد. برای نیل به این هدف، از چهار پایگاه داده شامل: فراسنج‌های پایش جوی روزانهٔ (نقشه‌های فشار، دما، باد، تاوایی، رطوبت نسبی و ...) پایگاه NCEP/NCAR با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه جهت شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضعیت هواشناختی منطقهٔ موردمطالعه، نقشه‌های همپوشانی مدل عددی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر برای بررسی تطبیقی جریان باد با فراسنج‌های موردمطالعه، داده‌های بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه، جهت پایش توزیع فضایی بارش و داده‌های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد بر اساس کدهای هواشناسی همدیدی (ww)، در راستای تحلیل وضعیت هوا در هنگام رخداد بارش سنگین، استفاده شد. نتایج حاصله حاکی از ناپایداری و صعود هوای مرطوب، توسط دو واداشت جوی بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ‌قطبی و همگرا

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٦٦۰۷۳۱۸۷ Email : Raispour@znu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

رئیس پور, کوهزاد, عساکره, حسین. (۱٤۰۱). بررسی نقش تعامل الگوهای توأم بریده‌ی کم‌فشار و رودباد جبهه‌ی قطبی در رخداد بارش سنگین فروردین ماه ۱۳۹۸ در استان لرستان. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۱(۳). صص ۲٤۹-۲۲۵
https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.67237.0

شـدن جریانات مرطوب از سـه کانون رطوبتی شـمال اقیانوس هند، دریای سرخ و شرق مدیترانه می‌باشد. این ویژگی‌ها، شرایط همدیدی ــ دینامیکی لازم را برای وقوع بارش سنگین مهیا نمود. البته عوامل محیطی متعدد دیگری، از قبیل اشـباع بودن لایه سـطحی خاک به دلیل میزان بالای بارش در روزهای قبل از وقوع سیل و ... در تشدید سیل مذکور نقش داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: بریدۀ کم‌فشار، رودباد جبهۀقطبی، واداشت جوی، کانون رطوبتی، استان لرستان.

۱- مقدمه

سیلاب‌ها یکی از شدیدترین و مخرب‌ترین مخاطرات جوی می‌باشند که آثار زیانباری داشته و انسان و طبیعت را در سـطح وسـیعی متأثر می‌نمایند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ فرجی سـبکبار و همکاران، ۱۳۹۳). کشـور ایران به‌دلیل شرایط و موقعیت خاص جغرافیایی، از ویژگی‌های متفاوت بارشی برخوردار می‌باشد؛ به‌نحوی‌که علی‌رغم دارا بودن بارشـی معادل یک سـوم میانگین بارش جهانی، دارای نوسانی شدید در رژیم بارش است (مسعودیان، ۱۳۸۷؛ نوری، ۱۳۹۱). رخداد بارش‌های شـدید و رگباری ازجمله ویژگی‌های آب و هوایی نواحی خشـک و نیمه‌خشـک است که موجب بروز سیل می‌شود (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). کشور ایران نیز به دلیل این ویژگی به‌کرّار از پدیده سیل متأثر می‌گردد (براتی و همکاران، ۱۳۹۳). الگوهای همدید، دوری و نزدیکی به دریا، ارتفاع، شـیب و جهت ناهمواری از مهم‌ترین بسـترهای شـکل‌گیری رخداد بارش به‌حساب می‌آیند. تعامل و اندرکنش این عوامل می‌تواند باعث افزایش بارش‌های سـنگین و رخداد سـیل شـود (سـیوتاس و فلکاس، ۲۰۰۳). با مطالعۀ اقلیم‌شـناسی بارش، ضمن شناخت ویژگی‌ها و رفتار بارش، امکان برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب فراهم می‌گردد (عسـاکره و رزمی،۱۳۹۰). ازاین‌رو چگونگی رفتار بارش به‌ویژه در شرایط بحرانی (نظیر خشکسالی و سیلاب) موردتوجه پژوهش‌گران در سطح ایران و جهان بوده است. در این زمینه می‌توان به مطالعات پژوهشگرانی ازجمله: روبرت، ۱۹۹۸؛ هند، ۲۰۰٤؛ کریشنا، ۲۰۰۸؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۹؛ فلون و همکاران، ۲۰۱۷؛ کلدیپ و همکاران، ۲۰۱۹ اشـاره نمود که با نگرش‌ها و اهداف مختلف در ارتباط با واکاوی دینامیکی، ترمودینامیکی و همدیدی بارش‌های سـنگین انجام شـده اسـت. از دیگر مطالعات انجام‌شده در خصوص بارش‌های سنگین در جهان می‌توان به تحقیقات وبستر و همکاران، ۲۰۰۵؛ هلستروم، ۲۰۰۵؛ پرسـون و همکاران، ۲۰۰۵؛ موهاپاترا و موهان تی، ۲۰۰۵؛ رودری و همکاران، ۲۰۰۵؛ لنا و همکاران، ۲۰۰۷؛ لاسـات و همکاران، ۲۰۰۷؛ تریپولی و همکاران، ۲۰۰۸؛ سـن روی، ۲۰۰۸ ؛ لندرینک و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسچومن و همکاران، ۲۰۰۹؛ مانان و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی یو و همکاران، ۲۰۱۳؛ آحامد و همکاران، ۲۰۱٤، شـارما و همکاران، ۲۰۱۷؛ فروید و همکاران، ۲۰۱۸ اشاره کرد که از زوایای مختلف و با استفاده از شگردهای مطالعاتی متعدد و متنوعی همچون شـگردهای مبتنی بر روش‌های آماری، همدیدی، ماهواره‌ای و ... صـورت گرفته است. در ایران نیز مطالعات متعددی در خصـوص بررسـی بارش‌های سـیل‌آسـا انجام شده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی شرایط

همدیدی بارش سنگین ٦ ژانویه جنوب‌شرق ایران، نشان دادند که رخداد بارش سنگین موردمطالعه، با شرایط مطلوب همدیدی نظیر وجود رطوبت زیاد در تراز پایین جو، به‌ویژه تخلیه رطوبتی شـدید از خلیج‌فارس، بی‌هنجاری‌های منفی شـدید در ترازهای میانی جو و اسـتقرار رودباد جنب‌حاره‌ای در غرب منطقه مرتبط بوده است. پرنده‌خوزانی و لشکری (۱۳۸۹) با بررسی همدیدی طوفان‌های شدید که زمینه‌ساز وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌آسا در غرب ایران شـده‌اند، اظهار نمودند که این طوفان‌ها نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقهٔ همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن‌ها به یک سـامانهٔ دینامیکی یا ترمودینامیکی هستند. امیدوار و همکاران (١٣٨٦) به مطالعهٔ تأثیر سردچال‌ها بر وقوع بارش‌های شدید در نواحی جنوب‌غـرب ایران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که عامل اصـلی ایجـاد بـارش، نفـوذ و اسـتقرار سامانهٔ پرفشارسیبیری و تشکیل سردچال وسیع بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران بوده است. در تحقیقی مشـابه که توسـط گنــــدمکار (۱۳۸۹) انجام گرفت عامل اصلی بروز بارش‌های سیل‌زا در نواحی جنوبی اسـتان بوشـهر را سـامانهٔ کم‌فشـار سودانی توأم با سامانه‌های مدیترانه‌ای معرفی نموده است. همچنین قویدل رحیمی (۱۳۹۰) با به‌کارگیری تعدادی از نمایه‌های ناپایداری به ارزیابی توفان تندری روز ۵ اردیبهشـت ۸۹ در تبریز پرداخت و نشان داد کــه وقـــوع توفان تندری و بارش مذکور براثر ورود جبههٔ هوای سرد و عوامل دینامیکی صورت گرفته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۱) با مطالعهٔ بارش‌های سیل‌آسای جنوب‌غرب ایـران، افزایش تاوایی نسبی در شرق دریای مدیترانه و غرب دریای سـرخ را مهم‌ترین عامل وقوع این بارش‌ها قلمداد کرده‌اند. عوامل متعدد دیگری نیز توسط برخی از محققین به‌عنوان عامل اصلی رخداد بارش‌های سنگین در ایران ارائه شده است که ازجملهٔ این عوامل می‌توان به: اختلاف فشار و شکل‌گیری جبههٔ حاصل از برخورد پرفشارهای شمالی و کم‌فشارهای داخل ایران، تقویت نسـیم دریا و خشـکی، اثر دمای سـطح دریا، اختلاف دمای سطح دریا و هوای روی آن اشاره نمود (قشقایی، ۱۳۷۵؛ خوشـحال، ١٣٧٦؛ حسـینجانی، ۱۳۸۳؛ مرادی، ۱۳۸۳). از دیگر مطالعات انجام شـده در این خصـوص که نشـان از تلاش محققان برای شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد بارش‌های سنگین در گسترهٔ ایران دارد می‌توان: به بررسی اثر ناوهٔ عمیق شرق مدیترانه بر بارش‌های سنگین ایران (مفیدی و زرین، ١٣٨٤)، اثر فرودهای عمیق مدیترانه‌ای بر بارش‌های سـیل‌زای ایران (امیدوار، ١٣٨٦)، اثر ناوهٔ شمال آفریقا بر بارش‌های سنگین جنوب و جنوبغرب ایران، تعیین دریاهای عمان و عرب به‌عنوان مهم‌ترین کانون‌های رطوبتی مؤثر بر برخی از بارش‌های زمســتانهٔ ایران (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸)، بررسـی شـار رطوبتی سـنگین‌ترین بارندگی زمستانی در ایران مرکزی (براتی و همکاران، ۱۳۹۳) و مطالعات متعدد دیگری توسـط محمدی، ۱۳۸۸؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸؛ کرمپور و همکاران، ۱۳۹۲؛ مظفری و همکاران، ١٣٩٦؛ مفاخری و همکاران، ١٣٩٦؛ مصـطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ شـادمانی و همکاران، ۱۳۹۷ اشاره کرد که نتایج حاصـله به‌خوبی بیان‌گر این اسـت که الگوهای همدیدی متفاوتی در عرض‌های جغرافیایی مختلف سـبب وقوع

بارش‌های سـنگین می‌شـوند. چرخندها، جبهه‌ها، فرودها[1]، رودبادها، کم‌فشـارهای بریده شده، همرفت‌های قوی، اثر دمای آب دریاها و اقیانوس‌ها (SST)، توپوگرافی و کوه‌بارش‌ها، سـبب رخداد ناهنجاری‌ها در سـرعت عمودی هوا، همگرایی پایینی، واگرایی بالایی، وزش رطوبتی، دمای سـطح دریا و... شـده و درنهایت باعث رخداد ناهنجاری‌های بارشـی و بارش‌های سـنگین می‌شـوند. بنابراین با وجود شناخته‌شدن سیل به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی و وقوع هرسـالهٔ آن در ایران، نه‌تنها خسـارت ناشـی از این پدیده کاهش نیافته اسـت بلکه از روند فزاینده‌ای نیز برخوردار می‌باشـد. لذا برنامه‌ریزی و تلاش در جهت کاهش خسـارات ناشـی از آن امری ضـروری می‌باشد. استان لرستان در جنوبغرب ایران، به فراخور موقعیت جغرافیایی و شـرایط زمین‌شـناسی و ژئومورفولوژیکی خاص خود، همه‌ساله به دلیل وقوع بارش‌های شـدید و طغیان رودخانه‌ها، از سیل‌های ویرانگر متأثر می‌شود. بنابراین شناخت الگوی این نوع بارش‌ها و سازوکارهای همدیدیـــ دینامیکی منجر به وقوع آن‌ها، کمک زیادی به شناسایی و پیش‌بینی آن‌ها خواهد نمود. هدف اصـلی این تحقیق نیز شـناخت ماهیت و سـازوکار الگوهای مولد بارش سـنگین و سـیل‌زای ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

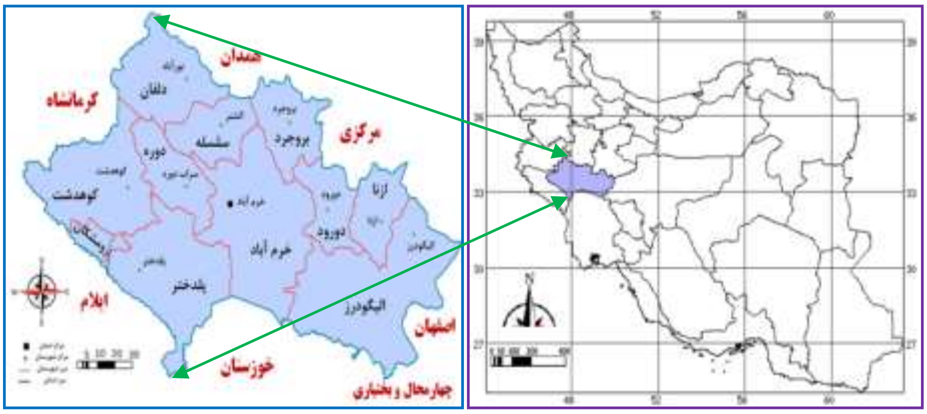
میزان بارش منجر به رخداد سـیل ۱۰ تا ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ از مقدار بسـیار بالاتری نسـبت به سـایر بارش‌های سیل‌آسا در استان لرستان برخوردار و به استناد آمار سازمان هواشناسی بی‌سابقه بوده است. از سویی دیگر با آگاهی از این‌که وقوع بارش‌های سنگین در هر منطقه با الگوهای همدید تراز بالای جو و شرایط هواشناسی حاکم بر آن منطقه در ارتباط بوده و با فرض بر اینکه گاهی بارش‌های شدید در نیمهٔ غربی ایران متأثر از موقعیت کم‌فشارهای بریده‌شده و رودبـاد جبهــه‌قطبی می‌باشـــند (امیدوار، ۱۳۹۲)، بارش مذکور به‌عنوان مورد تحقیق انتخاب شـــد. در ابتدا جهت شـناسـایی الگوهای همدیدی مؤثر بر وضـعیت هواشـناختی منطقهٔ موردمطالعه، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسـیل (m)، سـرعت باد (m/s)، جهت جریان، نم ویژه (g/kg)، دمای هوا (K) و تاوایی با گام‌های زمانی یک روزه و مکانی ۲/۵ درجه مرکز ملی محیطی و اقیانوس‌شـناسـی ایالات متحدهٔ آمریکا (NCEP/NCAR)[2] اسـتفاده شد. در گام دوم جهت بررسـی همزمان وضعیت باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی (بررسی تطبیقی) از داده‌های ساعتی دما، رطوبت نسبی، میزان رطوبت ابر و آب قابل بارش، از نقشـــه‌های همپوشـــانی شـــدهٔ برونداد مدل عددی معتبر پیش‌بینی و پیش‌یابی جهانی GFS با قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر اسـتفاده شد. سپس جهت دست‌یابی به دیدی جامع و همه‌جانبه از توزیع فضـایی بارش در منطقهٔ موردمطالعه، داده‌های بارش ماهواره «TRMM»[3] به کار گرفته شـد. ماهوارهٔ TRMM

1 Trough
2 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Center for Atmospheric Research (NCAR).
3 Tropical Rainfall Measuring Mission.

برای بررســی و مطالعهٔ بارش از عرض جغرافیایی ۵۰ درجهٔ جنوبی تا ۵۰ درجهٔ شــمالی به کار گرفته شــده اســت. داده‌های این ماهواره با گام‌های مکانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه و بازهٔ زمانی ٤ بار در روز (از سال ۲۰۰۰میلادی تاکنون) ارائه می‌شــود. در این تحقیق نیز از داده‌های روزانهٔ سـطح ۳ نسـخه ۷ ماهواره TRMM استفاده شد. همچنین جهت تحلیل شرایط جوی حاکم بر ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد (بر اساس نشانه‌ها و کدهای هواشناسی همدیدی (ww) در زمان وقوع بارش ســنگین) از داده‌های پایگاه ogimit اســتفاده شــد. پایگاه داده ogimit یک ســرویس ارائه دهندهٔ اطلاعات هواشــناسی می‌باشد که در خصوص شرایط فعلی هوا به‌صورت سریع و حرفه‌ای عمل می‌نماید. این پایگاه به‌طور عمده از داده‌های NOAA و داده‌های ســازمان هواشــناسی جهانی استفاده می‌کند. در گام نهایی داده‌های مورد اسـتفاده با گام‌های زمانی(سـاعتی و روزانه) و مکانی مختلف (از ۰/۲۵ تا ۲/۵ درجه) برای ترازهای سطح دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای گسترهٔ ۰ تا۷۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا٦۰ درجه عرض شمالی استخراج و با استفاده از نرم‌افزارهـای مختلف آمـاری و ترســیمی مورد پردازش قرار گرفـت. بـه علـت تعدد زیاد نقشـــه‌های متغیرهای موردمطالعه، در برخی موارد صرفاً به نقشه‌های روز اوج بارش اکتفا شده است.

۳- منطقهٔ موردمطالعه

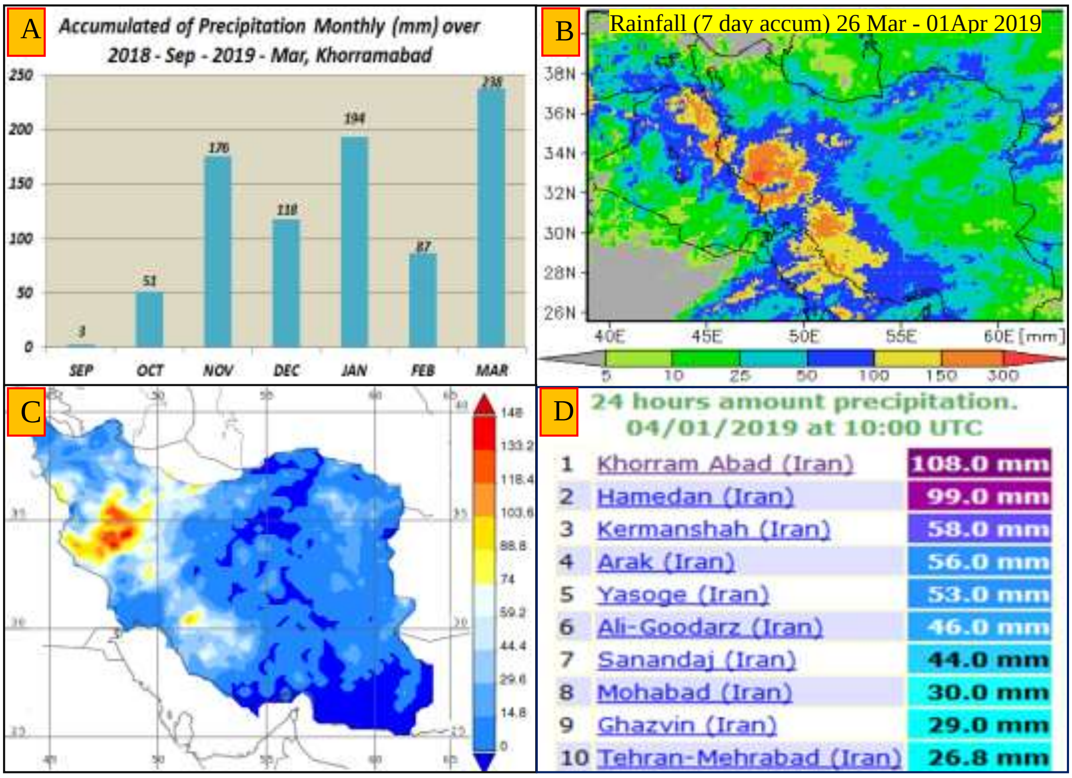
اســتان لرســتان با وســعتی حدود ۲۸۵۵۹ کیلومترمربع در مختصــات جغرافیایی E ′۳°۵۰ - ′۵۱°۴۶ : وN ′۲۰°۳۴ - ′۳۷°۳۲واقع می‌باشـد (شـکل ۱). لرسـتان سرزمینی کوهستانی است که به‌جز تعدادی دره آبرفتی و چند دشــت کوچک، ناحیه هموار نداشــته و تقریباً تمامی آن را کوه‌های زاگرس مرکزی در برگرفته است که به‌طور منظم دارای امتدادی شــمال‌غربی‌ــــجنوب‌شرقی می‌باشند. این ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق همگرا، اغلب فشرده، بلند و ناصاف هستند که به علت شیب بسیار زیاد و نفوذپذیری بسیار کم قابلیت سیل‌خیزی منطقه را افزایش می‌دهند (نگارش و همکاران، ۱۳۹۰). تفاوت ارتفاع (اشـترانکوه با ارتفاع ٤۰۵۰ متر واقع در حدفاصـل شهرستان‌های دورود، ازنا و الیگودرز و جنوب شهرستان پلدختر با ارتفاع حدود ۵۰۰ متر) موجب شده است این استان علیرغم وسعت کم، از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار باشـد؛ به‌طوری‌که در زمســتان، هنگامی‌که در شــمال لرستان برف و کولاک و سرمای شـــدید جریان دارد، قســـمت‌های جنوبی آن از هوای مطبوع و بارانی برخوردار اســـت. اختلاف ثبت شـــده دما در شـهرهای اسـتان لرسـتان بین حداکثر و حداقل مطلق دما بیش از ۸۰ درجه سـانتی‌گراد است. استان لرستان با بارش میانگین سـالانه ۵۵۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر بعد از استان‌های گیلان و مازندران سومین، استان از نظر بارندگی در کشور است (زند و همکاران، ۱۳۹٤).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۱- مشخصات بارش سنگین فروردین ۱۳۹۸

بارش‌های سنگین و مداوم فرودین ۱۳۹۸ در استان لرستان به‌طور گسترده در پهنه‌ای با گسترهٔ بیش از ۴۰ هزار کیلومترمربع رخ داده است. در همین ایام بارش گسترده در استان‌های ایلام، لرستان، کرمانشاه، همدان و ... بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ٤۸ ساعت گزارش‌شد (شکل ۲). از سویی دیگر حجم بسیار بالای بارش طی ماه‌های پایانی سال ۱۳۹۷ و بارش‌های سنگین و مداوم در روزهای منتهی به رخداد بارش در بخش وسیعی از مناطق غرب و جنوب‌غرب کشور، میزان نفوذپذیری خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (شکل ۲: A, B و جدول ۱). همچنین می‌توان، به شدت بارش در روز ۱ آوریل ۲۰۱۹ (۱۲ فروردین ۱۳۹۸) در استان لرستان اشاره کرد که میزان بارش (تندری) در این روز در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ۱۰۸ میلی‌متر گزارش شد (شکل ۲:C). حاکمیت چنین شرایطی در روزهای موردنظر، منجر به شکل‌گیری حجم بسیار زیادی رواناب شد که به لحاظ اکولوژیکی بسیار بالاتر از توان اکولوژیک حوضه‌های آبریز منطقه بود. علاوه بر این، عوامل دیگری از قبیل سازندهای زمین‌شناسی با ساختار مساعد سیل‌خیزی (نفوذپذیری بسیار کم) و چینه‌بندی مناسب چین‌خوردگی‌های زاگرس میانی، در همگرایی و تمرکز جریان‌های سیلابی منجر به رخداد سیل ۱ آوریل (۱۲ فروردین) نقش فزاینده‌ای داشته است.



شکل ۲- بارش تجمعی ماهانه در ماه‌های قبل از وقوع بارش سنگین (A) – بارش تجمعی ۷ روز منتهی به ۱ ام آوریل (B) – بارش ۲۴ ساعته مربوط به روز ۱ ام آوریل (C) – رتبه‌بندی ۱۰ ایستگاه پربارش کشور در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ (D)

جدول ۱- شرایط هواشناسی (ww) حاکم بر ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد (۲۲ مارس تا ۱ ام آوریل ۲۰۱۹)

Daily summary . Time interval: 10 days before 2019/04/01 — Khorram Abad (Iran)

Date	Temperature (C)			Td Avg (C)	Hr. Avg (%)	Wind (km/h)		Pres. e.lev (Hp)	Prec. (mm)	Tot Cl Oct	low Cl Oct	Sun D-1 (h)	Vis Km	Daily weather summary
	Max	Min	Avg			Dir.	Int.							
04/01	10.0	2.8	8.2	7.8	97.6	SSE	16.2	880.9	108.0	8.0	7.1	0.1	5.1	
03/31	18.2	8.6	10.8	7.3	80.5	S	17.1	885.0	5.0	6.9	4.2	4.4	12.0	
03/30	17.6	6.0	11.5	4.6	64.8	S	7.7	886.8	0.0	6.0	3.1	7.2	15.4	
03/29	12.8	-0.4	4.2	2.3	88.4	S	5.4	889.3	15.0	3.2	2.0	0.3	9.8	
03/28	13.4	1.2	7.2	4.1	84.5	W	8.1	887.8	3.0	6.4	5.1	4.5	11.8	
03/27	11.4	6.0	8.1	5.2	81.6	WSW	5.9	885.1	11.1	5.8	3.9	2.4	13.2	
03/26	17.8	4.2	10.4	5.8	77.3	SW	13.5	877.6	20.0	5.6	4.4	3.1	6.9	
03/25	15.0	6.0	9.2	8.9	96.9	SE	13.1	878.5	78.0	8.0	6.1	0.0	6.3	
03/24	18.5	6.9	10.9	5.0	74.4	WSW	9.9	884.4	4.0	7.4	4.2	9.0	11.9	
03/23	17.0	1.0	9.7	0.4	58.1	W	10.4	886.8	0.0	1.0	1.5	10.9	15.0	
03/22	16.3	0.2	9.2	-2.2	51.2	WSW	8.6	886.8	0.0	0.5	1.3	10.6	17.0	

۳-۲- تحلیل ساختار و گردشی جو

بررســی‌های اولیهٔ الگوهای همدیدی حاکم در زمان وقوع بارش سنگین در منطقهٔ موردمطالعه، به‌خوبی هم‌افزایی دینامیکی ناشــی از تعامل دو الگوی بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ‌قطبی را در رخداد بارش ۱ آوریل (۱۲ فروردین) و ســیل ناشــی از آن نشان می‌دهد (شکل ۲: A, B, C, D). بنابراین پس از بارزسازی ماهیت و نقش الگوهای همدیدی موردمطالعه، به تحلیل فراسنج‌های مختلف جوی، در راستای تبیین سازوکار بارشی منجر به رخداد سیل پرداخته شد.

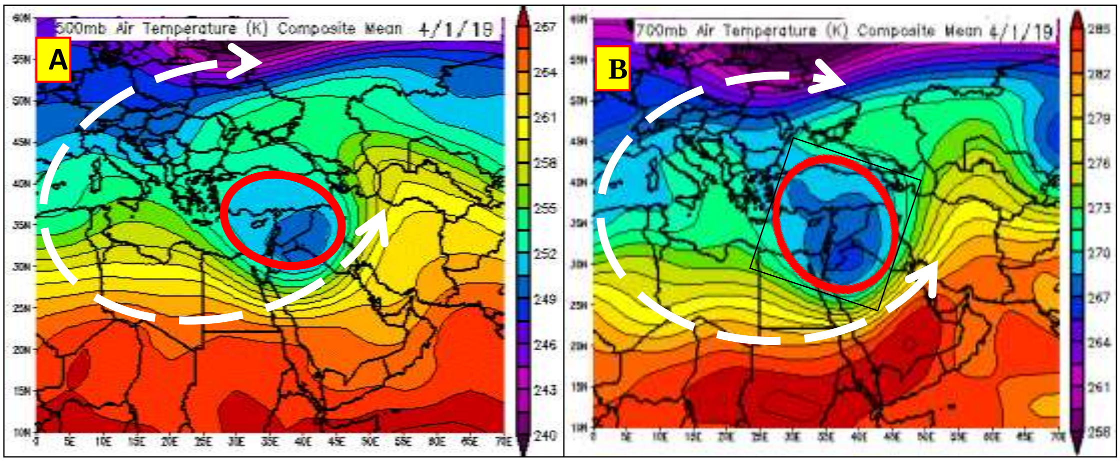
٤- یافته‌های پژوهش

٤-۱-توزیع مکانی دمای تراز میانی

ســردچال جوی[۱] چاله‌ای مملو از هوای ســرد می‌باشــد که در حرکت‌های نصــف‌النهاری بادهای سطح بالا، بر اثر فرود عمیق موج از جریــان اصــــلی جدا شــــده و در جنوب بادهای اصــــلی باقی می‌ماند (علیجانی، ۱۳۹۵). آرایش توپوگرافی الگوهای دما در تراز میانی جو به‌خوبی تبیین کنندهٔ ماهیت و مکانیســم آن می‌باشد. شکل(۳: A, B) بیانگر توزیع دمــای هوا در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاســـکال روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشـــد. همان‌طوری که در این نقشــه‌ها مشــهود اســت، دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز مذکور، یک سردچال جوی که پربند دمایی مرکز آن دمای ۲٤٥ درجهٔ کلوین (‎-۲۸ °c‎) را نشان می‌دهد، بر روی شرق دریای مدیترانه و غرب سوریه مستقر شده است. بررسی نقشـــه‌های متوالی در روزهای موردمطالعه حاکی از توقف ریزش هوای ســـرد قطبی به داخل ســـردچال مذکور و محبوس شــدن آن در جای خود در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ می‌باشد (۳: A). بارز بودن سردچال مذکور در تراز میانی جو و گســترش قائم آن تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با پربند دمای مرکزی ‎°K‎ ۲٦٥ (‎-۸ °C‎) بیانگر قوی بودن سردچال و اثرگذاری آن بر ناپایداری هوای لایه مرزی می‌باشــد (۳: B). از سویی دیگر بررسی پربندهای همدما و هم‌ارتفاع بر روی نقشه‌های تراز میانی جو، حاکی از انطباق محورهای حرارتی و پربندی بوده که این شرایط در روز ۲ ام آوریل با آمیخته‌شــدن هوای ســرد درون بریدهٔ کم‌فشــار با هوای گرم پیرامونی از بین رفته‌اســت. در حقیقت زوال دورهٔ حیات سردچال، خاتمهٔ فعالیت سامانهٔ بارشی را در منطقهٔ موردمطالعه به دنبال داشته است.

---

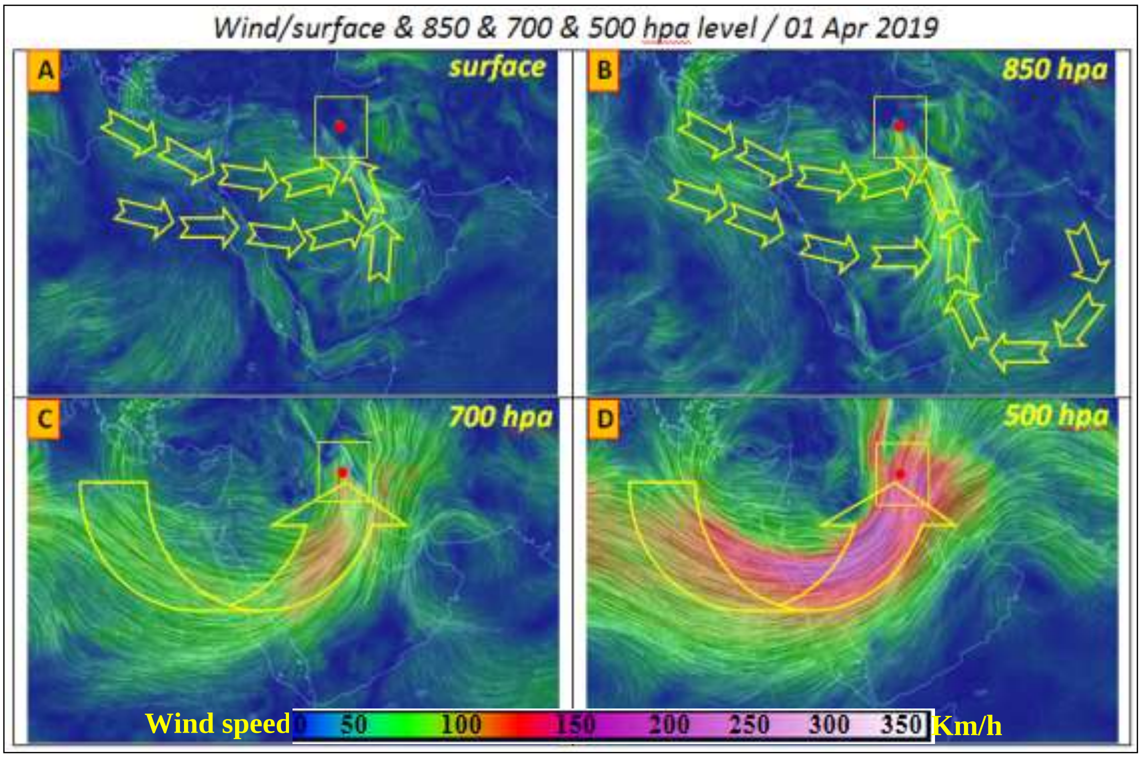
1 Cut- Off- Low



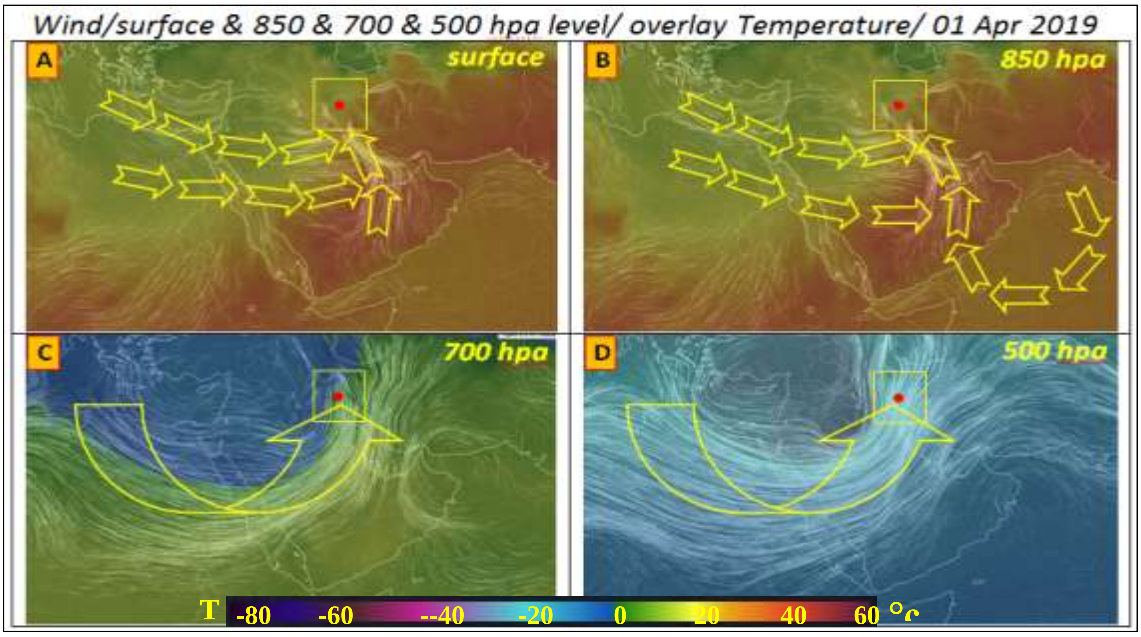
شکل ۳- نقشهٔ دمای تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱ ام آوریل ۲۰۱۹ – دما بر حسب کلوین

٤-۲- نقشه‌های برهم نهی باد و فراسنج‌های هواشناسی (مدل GFS)

نقشـه‌های برونداد مدل GFS (همپوشانی متغیر باد و دیگر فراسنج‌های هواشناسی) به‌خوبی تبیین کنندهٔ سازوکار دینامیکی لازم در شـکل‌گیری سامانهٔ بارشی مدنظر است. در این نقشه‌ها فشردگی خطوط جریان هوا و جهت جریان در تراز میانی جو بیانگر وجود رودباد جبههٔ قطبی تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسـکال می‌باشـد (شـکل ٤). بدین مفهوم که در روز ۱ ام آوریل، خطوط جریان پیوسته در تراز میانی جو، جریان شدید شرق‌سوی هوا را به سمت منطقهٔ موردمطالعه نشـان می‌دهد. در این روز، سرعت باد در جریان مرکزی رودباد به بیش از ٤٥ متر بر ثانیه رسیده است (شکل D :٤). در ترازهای سطح دریا و سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز همگرایی جهت جریان‌های باد به سمت منطقهٔ موردمطالعه کاملاً مشـخص و به‌خوبی نشـان‌دهندهٔ انتقال رطوبت از کانون‌های رطوبتی دریای سـرخ، اقیانوس هند و دریای مدیترانه با تمرکزگرایی و شـدت بالا به سـمت منطقهٔ موردمطالعه بوده است (شکل A, B :٤). در سطوح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز جهت جریان باد ضـمن تبعیت از تراز میانی جو از اثرگذاری بیشـتری بر نیمهٔ غربی ایران برخوردار است (شکل C : ٤). بیشترین سرعت باد به‌ترتیب در ترازهای دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برابر با ۱۵، ۲۰، ۸۰ و ۱۵۱ کیلومتر بر سـاعت بوده اسـت. همچنین جهت باد در ترازهای مذکور به ترتیب ۱۱۵، ۱۳۵، ۱۷۵ و ۲۰۰ درجه است. (جدول ۲). نقشـه‌های دما نیز کاهش دما را از سـطح زمین تا تراز میانی جو در راستای قائم نشان می‌دهد به‌طوری‌که دما در ایسـتگاه هواشـناسی خرم‌آباد ۱۰/۲ °C، و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب ۷ °C، ۷/٥ °C- و ۲٦/۳°C- ثبت شده است (شکل ٥ و جدول ۲).

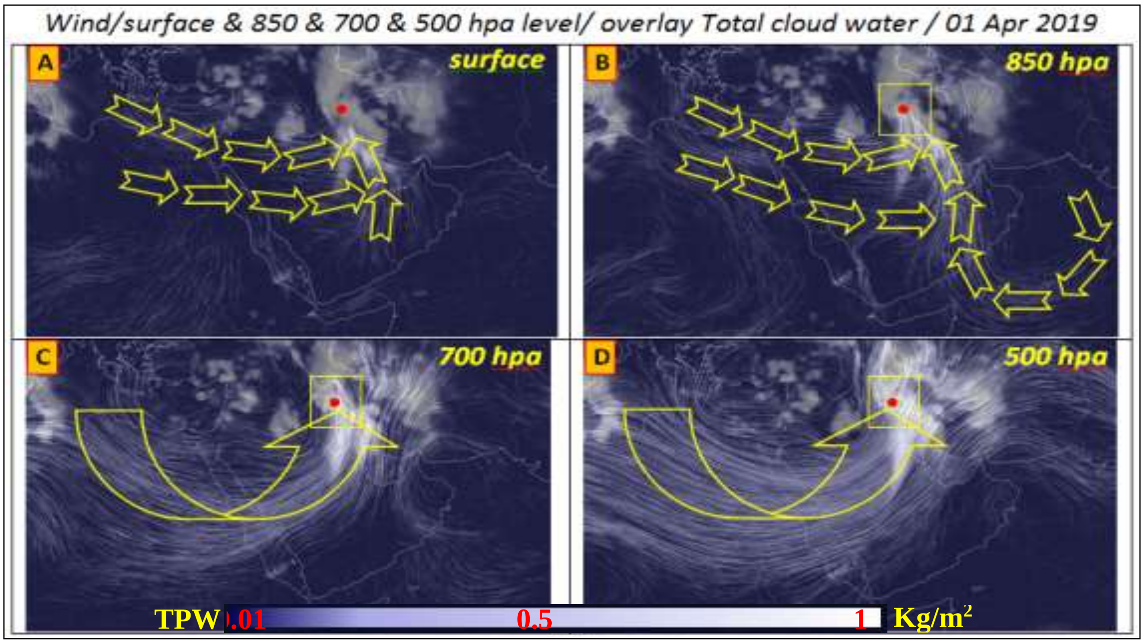


شکل ٤- نقشه‌های جهت و سرعت جریان باد ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

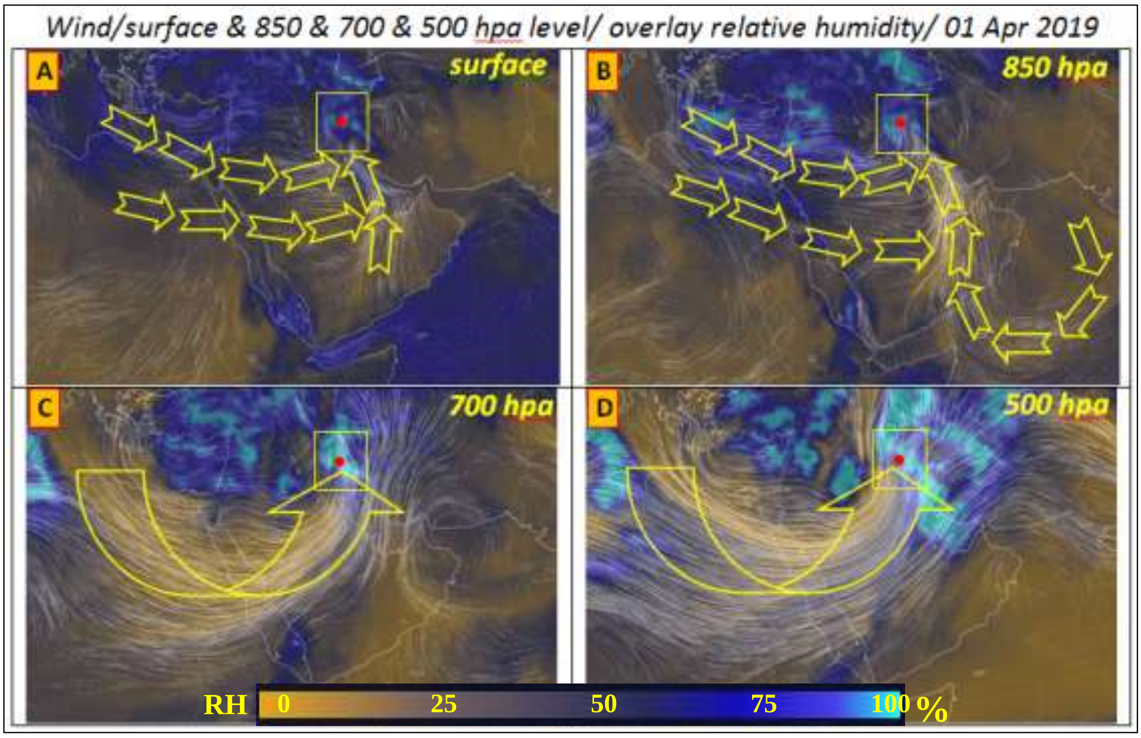


شکل ٥- نقشه‌های برهم‌نهی باد و دمای ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

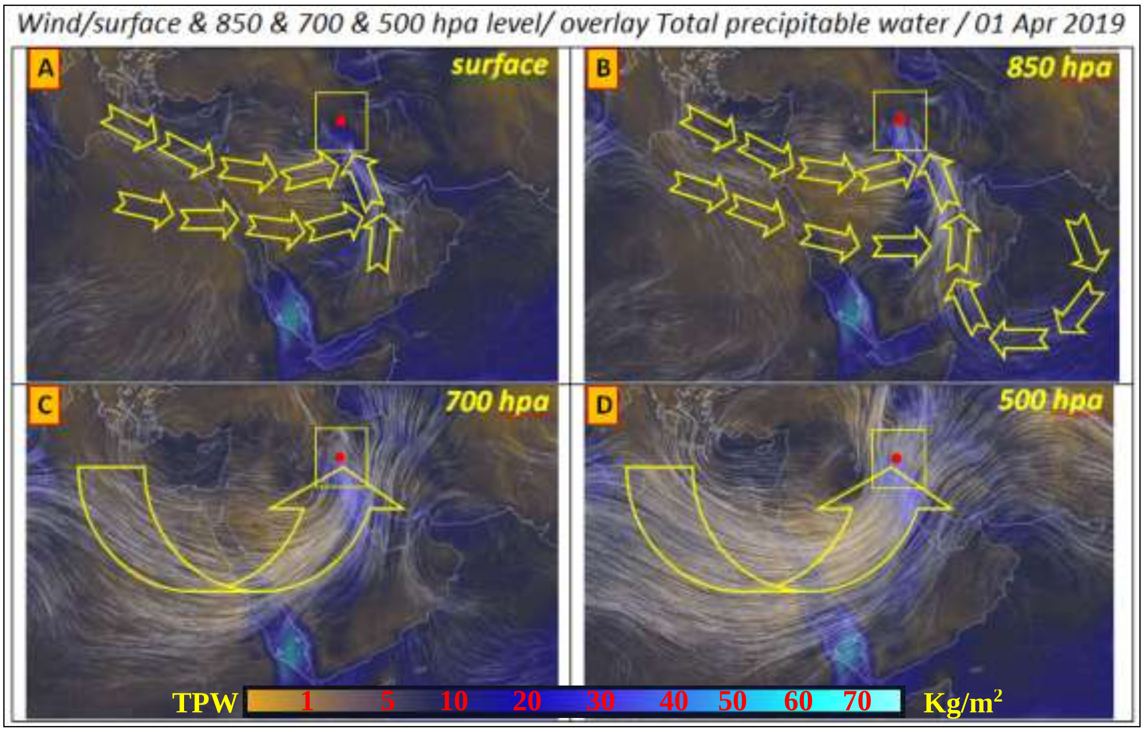
از جهتی دیگر بالابودن میزان رطوبت نسبی در روز اوج بارش از سطح زمین تا تراز میانی جو بیانگر مهیایی میزان رطوبت برای رخداد بارش سنگین بوده است؛ به‌طوری‌که در این روز میزان رطوبت نسبی در سطح ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد ٪۹۳ و در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال ٪۹٦، ٪۹۸ و ٪۹۹ می‌باشد (شکل ٦ وجدول ۲). همچنین بالابودن میزان رطوبت تودهٔ هوای منجر به بارش سنگین به‌روشنی از طریق میزان آب موجود در ابر قابل توجیه است؛ به‌طوری‌که میزان بخار آب موجود در ابرهای مستقر بر فراز منطقه حدود kg/m2 ۰/٦۷٦ بوده است (شکل ۷ و جدول ۲). بالا بودن میزان رطوبت (آب قابل بارش به kg/m2 ۲۲/۲۱) منجر به حجم بالایی از بارش شد. بنابراین الگوهای شار افقی بخصوص در ترازهای سطحی و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان دادند که جریان‌های ناقل رطوبت پس از دور شدن از جنوب شرق دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای عرب به تدریج با نزدیک شدن به خلیج‌فارس همگرا شده و در امتداد سلسله جبال زاگرس از سمت جنوب غرب به منطقهٔ موردمطالعه وارد شدند. از سویی دیگر ریزش هوای سرد ناشی از عمیق شدن تراف بادهای غربی، ناپایداری و صعود شدید هوای ناشی از الگوهای بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبهه‌قطبی منجر به افزایش رطوبت نسبی و رشد سریع ابرهای کومه‌ای کومولونیموس گردید (شکل ۸ و جداول ۱ و ۲). همچنین در الگوی فشار تراز دریا، همان‌طور که در شکل شمارهٔ (شکل 9: A) مشخص است، در روز ۱ ام آوریل، استقرار رودباد تراز میانی جو به همراه سردچال جوی مجاور آن بر روی نواحی غربی منطقهٔ موردمطالعه، سبب تشکیل مرکز کم‌فشار در این مناطق شده است. تعامل این الگوها شرایط ایده‌آلی را برای ناپایداری هوای لایه مرزی و صعود رطوبت به درون ترازهای فوقانی جو فراهم نموده است. چنین شرایطی سازوکار دینامیکی و رطوبتی لازم را برای شکل‌گیری یک سامانهٔ بارشی سیل‌زا با میزان بارش بیش از ٦۰ میلی‌متر در سه ساعت را در منطقهٔ موردمطالعه مهیا نموده است (شکل 9: B).



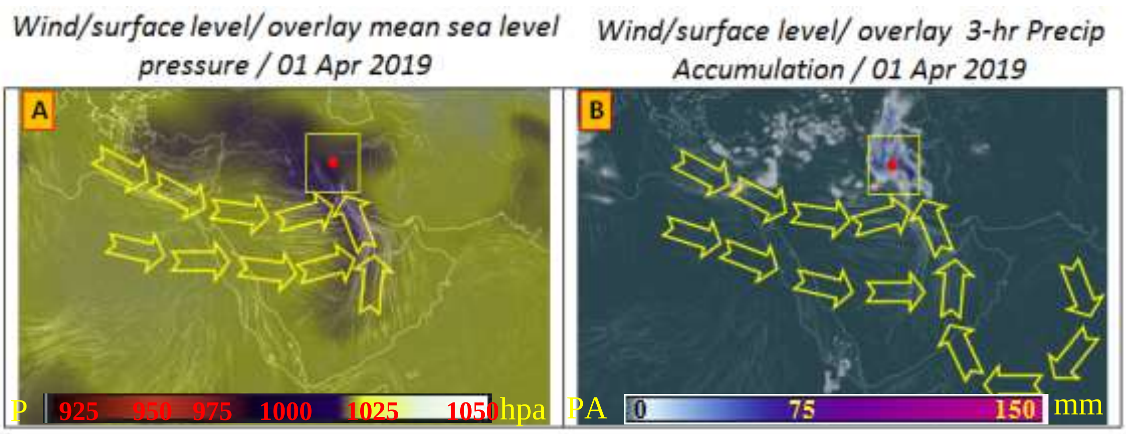
شکل ٦- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت ابر ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۷- نقشه‌های برهم نهی باد و رطوبت‌نسبی ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش‌سنگین در استان‌لرستان



شکل ۸- نقشه‌های برهم نهی باد و آب قابل بارش ترازهای مختلف جوی در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان



شکل ۹- نقشه‌های برهم نهی باد و فشار سطح دریا (A) و بارش تجمعی سه ساعته (B) در روز اوج بارش سنگین در استان لرستان

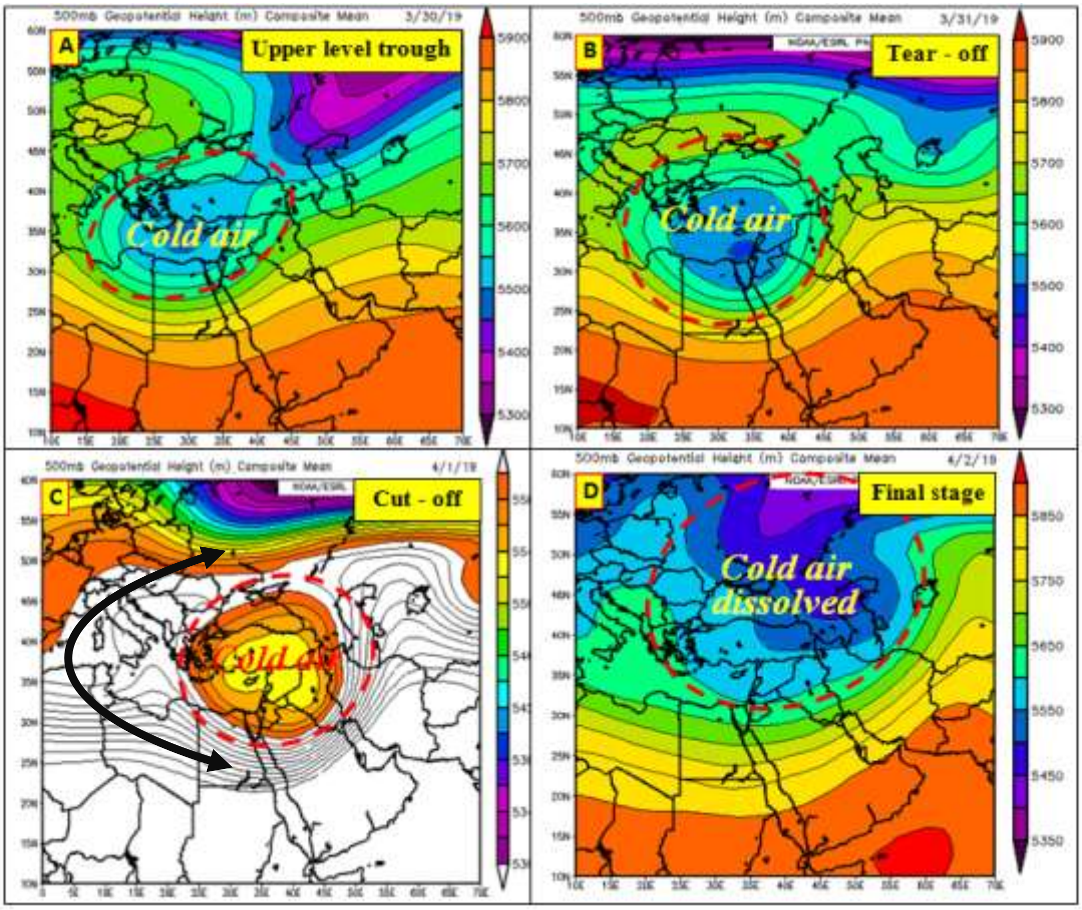
جدول ۲- مقادیر فراسنج‌های موردمطالعه در ترازهای مختلف جوی (برونداد مدل GFS – 01 apr 2019)

Available↓ / Level →	Surface Level	850 hpa	700 hpa	500 hpa
Wind Speed (km/h)	15	20	84	151
Wind Direction (°)	115°	135°	175°	200°
Temperature (°c)	10.2 °c	7 °c	-7.5 °c	-26.3 °c
Relative Humidity (%)	93%	96%	98%	99%
Total Cloud Water or TCI (kg /m^2)	0.676	0.676	0.676	0.676
Total Precipitable Water or TPW (kg/m^2)	22.218	22.218	22.218	22.218
3 – hr Precip Accumulation	64 mm			
Sea Level Pressure	1000 hpa			

٤-۳- الگوی بریدهٔ کم‌فشار (COL)

شکل‌های شمارهٔ (۱۰: A, B, C, D) الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روزهای ۳۰ ام مارس تا ۲ آوریل ۲۰۱۹ نشـان می‌دهد. در نقشهٔ ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۲ روز قبل از روز اوج بارش (۳۰ مارس) در منطقهٔ موردمطالعه، هستهٔ اولیهٔ یک سامانهٔ بریدهٔ کم‌فشار با چندین پربند بسته و مرکزیت یک پربند بسته به ارتفاع ۵۵۰۰ ژئوپتانسـیل متر و با اختلاف ۳۰۰ متر با بیرونی‌ترین منحنی هم ارتفاع آن، بر روی جنوب دریای مدیترانه و شـمال دریای سرخ در حال شکل‌گیری است (شکل A :۱۰). این استخر پر از هوای سرد با حرکتی بسیار آرام در حال پیشـروی به سـمت شـرق است. به‌طوری که مرکزیت آن در روز ۳۱ ام با کمی جابجایی بر جنوب‌شرق دریای مدیترانه، شمال دریای سرخ و بخشی از سرزمین سوریه مستقر شده است (شکل B :۱۰). در این روز بریدهٔ کم‌فشار به بلوغ کامل رسـیده و تعداد پربندهای بسـتهٔ درون آن تقویت شـده اسـت. اختلاف ارتفاع قابل ملاحظه میان پربند مرکزی سـردچال با بیرونی‌ترین منحنی آن سـبب ایجاد شـیب شـدید و ناپایداری قابل ملاحظه‌ای شده که فشردگی منحنی‌های هم ارتفاع بیانگر شیب حرارتی زیاد و بالا بودن سرعت باد می‌باشد. «بریدهٔ کم‌فشار» در روز اوج بارش در اسـتان لرسـتان (۱ آوریل) با کمی جابجایی به سمت شرق، بخش شرقی آن بر روی منطقهٔ موردمطالعه گسترده شده است. در این روز جنوب‌غرب ایران و بخصوص منطقهٔ موردمطالعه در زیر بخش شرقی «بریدهٔ کم‌فشار» (ناپایدارترین قسـمت آن) قرار دارد (شـکل C : ۱۰). ناپایداری و صـعود شدید هوا در زیر بخش شرقی سامانه و تزریق رطوبت ناشی از وزش رطوبتی جریان‌های همگرای باد از کانون‌های رطوبتی شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و دریای مدیترانه به سـمت منطقهٔ موردمطالعه و وجود مانعی به نام رشـته کوه‌های زاگرس که صـعود این رطوبت را تسریع می‌بخشد، منجر به شکل‌گیری ابرهای جوششی کومولونیمبوس و توفان تندری بر فراز منطقهٔ موردمطالعه شده است (جدول ۱و اَشکال ٦ تا ۸). شرایط سینوپتیکی سطح متوسط دریا نیز در روزهای حاکمیت این الگو، حکایت از یک سیستم چرخندی قوی متأثر از سامانه‌های همدیدی تراز میانی جو (بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبهه‌قطبی) دارد که با فشـار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسـکال بر روی نواحی غربی همجوار با منطقه موردمطالعه کشـیده شـده‌است. همراهی

سـامانهٔ کم فشـار سـطح زمین با الگوهای همدیدی تراز بالا منجر به شـکل‌گیری بارش سنگین در جنوب‌غرب ایران (بخصوص استان لرستان) شده است (شکل ۵ و۶). در نقشه روز ۲ ام آوریل الگوی بریدهٔ کم‌فشار نسبت به روزهای قبل بسـیار تضعیف شده به‌طوری‌که با ادغام هوای سرد درون کم‌فشار با هوای گرم پیرامونی خود محو شده و منجر به توقف نسبی بارش‌در این روز شده است (شکل D :۱۰).



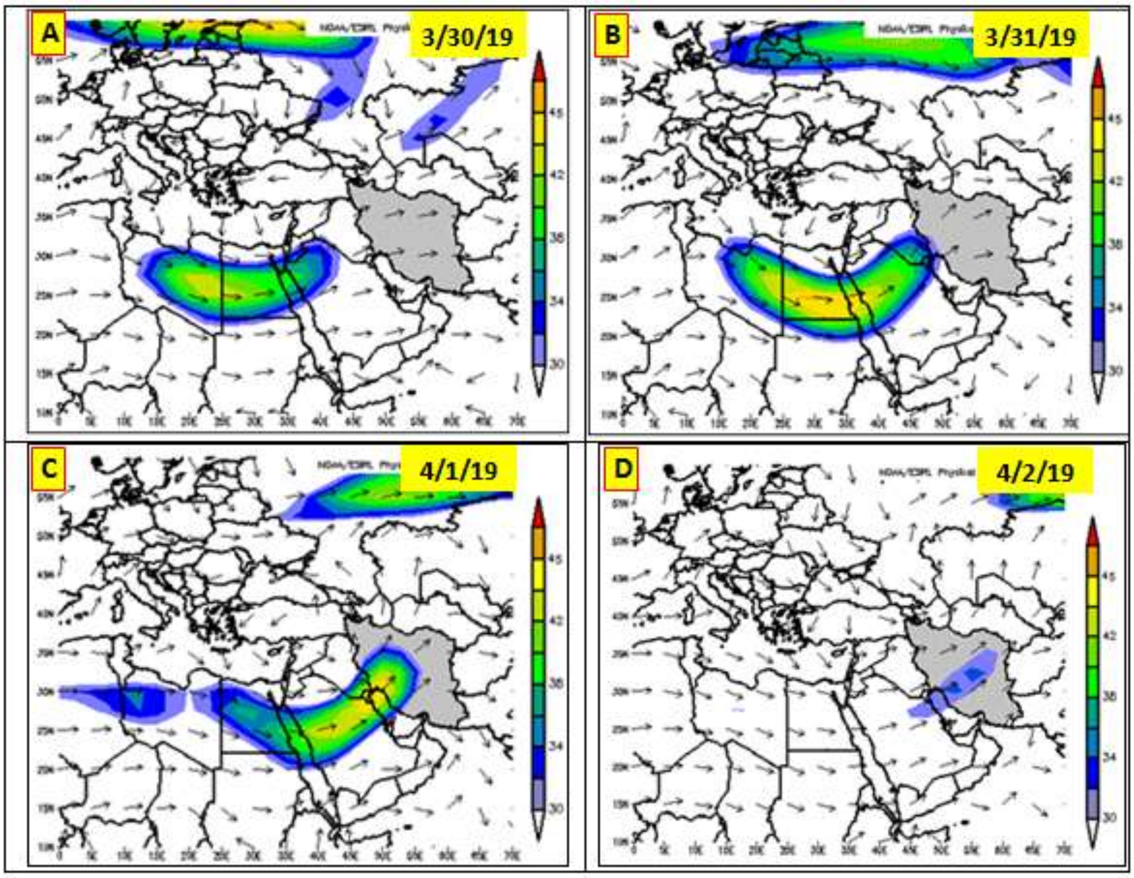
شکل ۱۰- مراحل شکل‌گیری بریدهٔ کم‌فشار مؤثر بر وقوع بارش سنگین در استان لرستان

٤-٤- الگوی رودباد جبهۀقطبی (PFJ)

شکل شمارهٔ ۱۱ آرایش توپوگرافی الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل و موقعیت رودباد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالِ روزهای ۳۰ام مارس تا ۲ ام آوریل ۲۰۱۹ م را نشـان می‌دهد. در این نقشـه‌ها در روز ۳۰ ام مارس (۲ روز قبل از روز اوج بارش) دوشـاخه شـدن[1] بادهای غربی به دو شاخهٔ شمالی و جنوبی کاملاً مشهود بوده و الگوی رودباد جبهۀقطبی در

1 Bifurcate

درون تراف شاخهٔ جنوبی بادهای غربی و در جنوب بریدهٔ کم‌فشار که شرح آن در بالا آمده‌است، در حال تشکیل است. دوشاخه شدن جریان شرق‌سوی بادهای غربی و شکل‌گیری جریان جت در جنوب بریدهٔ کم‌فشار توانسته‌است با وقوع بارش سنگین و رخداد سیل در استان لرستان مرتبط باشد. انطباق فشردگی منحنی‌های هم‌ارتفاع با خطوط هم‌سرعت باد در هستهٔ رودباد، بیانگر تضاد حرارتی شدید در تراز مذکور می‌باشد که خود می‌تواند به تشدید هرچه بیشتر ناپایداری و صعود هوای زیرین خود منجر شود. سرعت بالای باد در تراف واقع در شاخهٔ جنوبی بادهای غربی منجر به تشکیل رودباد جبههٔ قطبی گردیده، به نحوی که سرعت باد در حاشیه رودباد ۳۰ m/s و در هستهٔ آن از ٤۰ m/s فراتر رفته‌است. رودباد موردنظر که به صورت نواری با بیشینهٔ سرعت دیده می‌شود تا مسافت‌های طولانی از شمال صحرای آفریقا تا جنوب‌غرب عراق کشیده شده است. در روز ۳۱ ام مارس، سرعت جریان باد با افزایش به سمت هستهٔ رودباد به ٤٥ m/s رسیده و با حرکتی شرق‌سوی در حال وزش به سمت جنوب‌غرب ایران (استان لرستان) می‌باشد. در این روز، تداوم شدت جریان باد توسط رودباد جبههٔ قطبی مهیا بوده و همچنان شرایط برای ایجاد جوی ناپایدار و صعود هوای تراز زیرین جو و انتقال رطوبت به جنوب‌غرب ایران فراهم می‌باشد (اَشکال A, 11: B). در روز اوج بارش (۱ آوریل ۲۰۱۹) با استقرار رودباد جبههٔ قطبی بر روی جنوب‌غرب ایران و ناپایداری حاصل از جریان شدید آن در ترازهای میانی جو، سازوکار لازم برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای تراز زیرین جو فراهم شده است. منطقهٔ ناپایدار ناشی از الگوهای مذکور تا سطح زمین امتداد یافته و اثر شدیدی بر هوای سطح زمین داشته است. این تأثیر به‌طور عمده منجر به تشکیل سیکلون و نیز ایجاد ناپایداری در جو زیرین خود شده است. مهیایی چنین شرایطی در کنار همراهی سردچال جوی مستقر در شمال رودباد مذکور، شرایط جوی را برای ریزش بارش سنگین از طریق کمک به سرعتِ صعود تودهٔ هوای زیرین خود فراهم نموده است (11: C, D). از آنجا که تودهٔ هوای در حال صعود به‌خوبی از رطوبت کانون‌های رطوبتی متعددی از قبیل شمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ، خلیج‌فارس و دریای مدیترانه بارور شده بود، پتانسیل لازم را برای ایجاد رخداد بارش سنگین داشته است. بنابراین، تأثیرات اقلیمی الگوهای بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی در رخداد بارش‌های سنگین، از طریق تعامل و هم‌افزایی در بروز حرکات عمودی هوا صورت می‌گیرد. در نتیجه این‌که صعود شدید هوای مرطوب ناشی از همگرایی الگوهای همدیدی مذکور و همچنین فراهم بودن شرایط محیطی، زمینه‌ساز رخداد بارش سنگین منجر به سیل در ۱۰ ام تا ۱۲ ام فروردین در استان لرستان شده است.



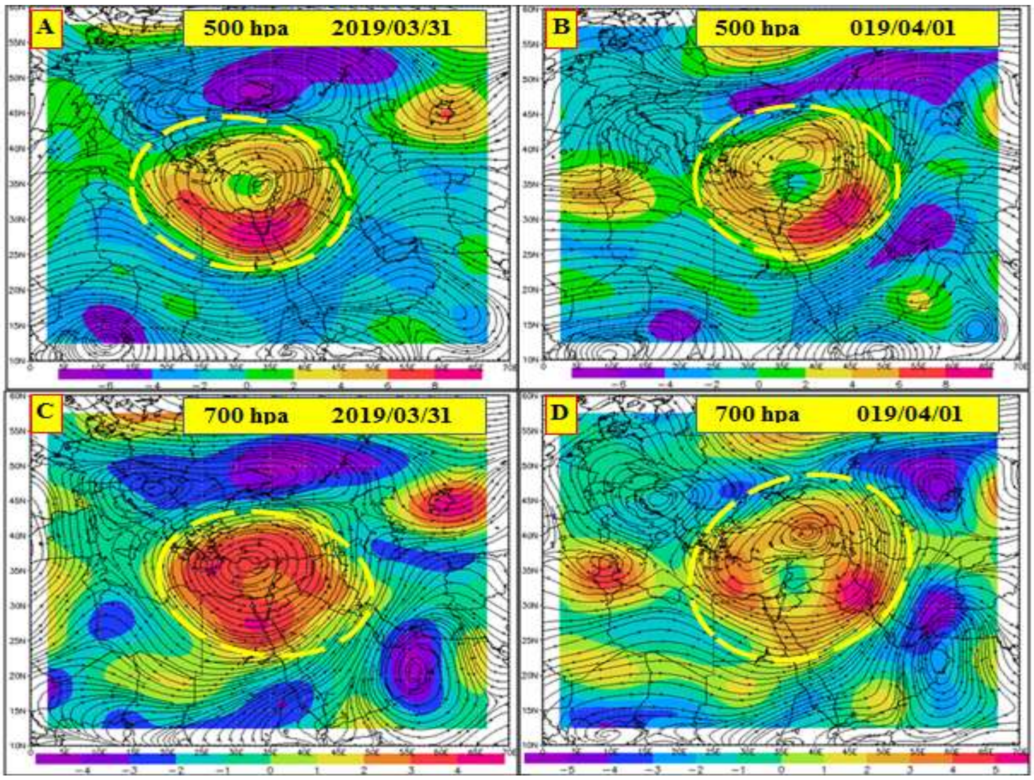
شکل ۱۱- آرایش توپوگرافی، بارزسازی و موقعیت رودباد تراز میانی جو (۳۱ مارس تا ۲ آوریل)

٤-٥- الگوی مکانی تاوایی[1]

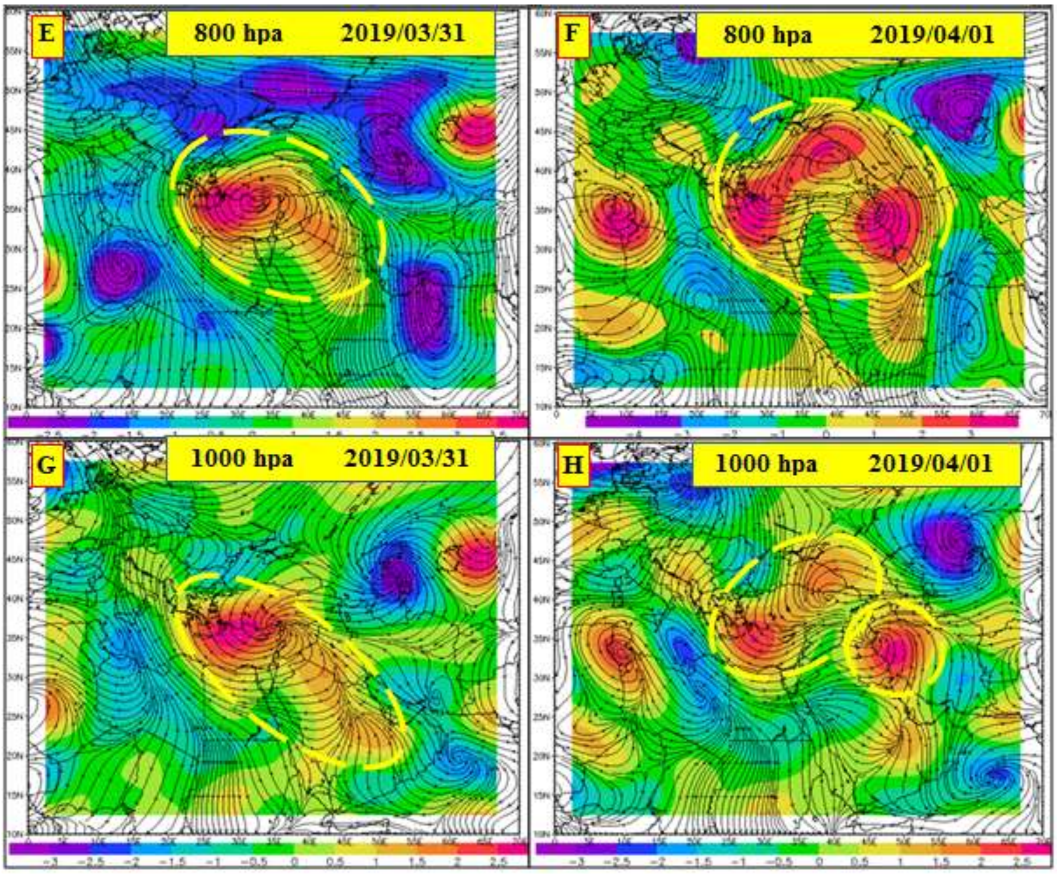
الگوهای تاوایی و جریان باد توأم با رویداد بارشی موردمطالعه در ترازهای چهارگانه (۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا) در شکل شماره ۱۲ ترسیم شده است. بررسی نقشه‌های تاوایی نسبی در تراز میانی جو و ترازهای زیرین موردمطالعه، گویای آن است که موقعیت قرارگیری الگوی بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔقطبی و مقادیر کمیت تاوایی نسبی به‌خوبی با هم منطبق می‌باشند. به‌گونه‌ای که مقادیر بیشینهٔ تاوایی نسبی ترازهای میانی با بخش‌های شرقی بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔقطبی کاملاً انطباق دارند. مقادیر کمیت تاوایی در بخش‌های مذکور قابل توجه بوده و بیشترین مقدار را در روز اوج بارش (۱ ام آوریل ۲۰۱۹) به خود اختصاص داده است (شکل B ۱۲:). بر اساس نقشهٔ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۳۱ ام مارس، یک سامانهٔ چرخندی مثبت (سیکلونی) منطبق با محل استقرار بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔقطبی مجاور آن، با مکان‌گزینی هستهٔ مرکزی خود در مختصات جغرافیایی

1 Vorticity

$35^{\circ}E$ $30^{\circ}N$ کاملاً مشهوداست (۱۲: A). ازجمله اثرات بریدهٔ کم‌فشار و رودباد جبههٔ قطبی، ایجاد تاوایی و بروز جریانات (عمدتاً مرطوب) عمودی حاصـل از انبساط تودهٔ هوا در تراز بالا در زیر هستهٔ چرخندی خود می‌باشد. این جریانات توأم با بارش‌های سـنگین در منطقهٔ موردمطالعه بوده اسـت. روز اوج بارش در تراز ۵۰۰ هکتوپاسـکال، همچنان سـامانهٔ چرخندی با حرکتی شرق‌سوی در راستای الگوهای مذکور به سمت شرق حرکت نموده و مرکزیت آن در مختصـات $40^{\circ}E$ $32^{\circ}N$ بـه نحوی مکان‌گزینی نموده اسـت که همچنان شـرایط مطلوبی برای ایجاد ناپایداری و صـعود هوای مرطوب منشـأ یافته از کانون‌های رطوبتی (دریای عرب، دریای سـرخ، دریای مدیترانه و خلیج‌فارس) و انتقال آن به ایران فراهم می‌باشد (شکل ۱۲: A, B). الگوهای تاوایی ترازهای ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا نیز علاوه بر پیوستگی و انطباق شرایط ناپایدار آن‌ها با تراز میانی جو، به خوبی بیانگر شرایط مطلوب برای ایجاد ناپایداری و صعود هوای ناشی از سامانه‌های چرخندی شکل‌گرفته در مجاورت سطح زمین و انتقال رطوبت از کانون‌های رطوبتی فوق‌الذکر به منطقهٔ موردمطالعه می‌باشـد. به‌طوری که در الگوهای تاوایی روز ۱ام آوریل ۲۰۱۹، گسـترهٔ وسیعی از نواحی همجوار با جنوب‌غرب ایران از سطح زمین تا تراز میانی جو در سیطرهٔ منطقهٔ تمرکز تاوایی مثبت قرار گرفته و جریان پادساعتگرد هوای مرطوب وابسته به سامانهٔ چرخندی مذکور، زمینه‌ساز شکل‌گیری سامانهٔ بارشی سیل‌زا در جنوب‌غرب ایران شده است (اشکال ۱۲: C, D, E, F, G, H).



شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان



ادامهٔ شکل ۱۲- الگوهای تاوایی ترازهای مختلف جوی در هنگام رویداد بارش سنگین در استان لرستان

۵- جمع بندی

بریدهٔ کم‌فشـــار و رودباد جبههٔ‌قطبی در ردیف پدیده‌های مهم و بنیادی هواشـــناســـی قرار می‌گیرند که عموماً در عرض‌های میانی، در اثر گردش نصف‌النهاری جریان بادهای غربی به وجود می‌آیند (سعیدآبادی و همکاران، ۱۳۹٤). رودبادها نیز در اغلب نقشـه‌های هوا به‌صورت هسته‌هایی کاملاً منفرد بوده که پتانسیل بسیار بالایی در ایجاد ناپایداری و صعود هوای زیرین خود دارند (رئیس پور و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین درصورتی‌که الگوهای مذکور در تراز میانی جو، در مجاورت هم شکل بگیرند، همراهی و تعامل آن‌ها نقش فزاینده‌ای در شکل‌گیری جو ناپایدار و صعود هوای زیرین آن‌ها دارد. موقعیت جغرافیایی کشور ایران به‌گونه‌ای می‌باشد که بخصوص در دورهٔ سرد سال، مدتی در عرصهٔ فعالیت بریده‌های کم‌فشار و رودبادهای جبههٔ‌قطبی واقع شده و این دو الگو بر قسمتی از آن مسلط می‌شوند. بنابراین، حاکمیت چنین شـرایطی پتانسـیل‌های لازم را برای ایجاد ناپایداری‌های شدید و رخداد بارش‌های سنگین در نواحی تحت تأثیر آن‌ها دارا می‌باشد. نتایج حاصل از واکاوی همدیدی ــــ دینامیکی سامانهٔ بارشی سیل‌زای فروردین ۱۳۹۸

(۳۰ام مارس تا ۱ ام آوریل ۲۰۱۹) در اســتان لرستان که با استفاده از متغیرهای متعدد همدیدی، دینامیکی، مشاهداتی و ماهواره‌ای انجام گرفت، نشـان داد که بارش‌های موردبررسـی به الگوهای همدیدی تراز میانی جو و وقوع حرکات صـعودی فرارفتی در ترازهای زیرین بسـتگی دارد. در بارش مذکور، شـکل‌گیری یک سـامانهٔ بریدهٔ کم‌فشـار، روند معمول جریان بادهای غربی را دچار اختلال نموده و سـبب دوشـاخه شدن جریان بادهای غربی به دو شاخهٔ شمالی و جنوبی شــده اســت. در نتیجه بارش غالب را از حالت مداری به نصــف‌النهاری تبدیل نموده و شــاخهٔ جنوبی بادهای غربی را به سـمت عرض‌های جغرافیایی پایین سـوق داده است. افزایش سرعت باد در شاخهٔ جنوبی جریان بادهای غربی منجر به تشـکیل رودباد جبههٔقطبی شده است. کشیده شدن شاخهٔ جنوبی جریانات غربی (جریان جت جنوبی) به سـمت عرض‌های جغرافیایی جنب‌حاره‌ای امکان کسب هرچه بیشتر رطوبت را از سطح آب‌های گرم عرض‌های پایین (جنوب شـرق مدیترانه، دریای سـرخ، دریای عرب و خلیج‌فارس) مهیا نموده است. از سویی دیگر تداوم چند روزهٔ سـامانهٔ بندالی به‌عنوان مانعی در مسـیر جریان بادهای غربی، ضـمن کند نمودن جریان، سـبب تقویت و تداوم جریان جت شاخهٔ جنوبی شده است. در چنین شرایطی، آمیختگی منطقهٔ ناپایدار ناشی از جریان جت جنوبی با منطقهٔ ناپایدار بخش شـرقی بریدهٔ کم‌فشار، پتانسیل بسیار بالایی در ناپایدار نمودن و صعود هوای مرطوب زیرین منشأ یافته از کانون‌های شـمال اقیانوس هند (دریای عرب)، دریای سرخ و مدیترانه داشته است. به‌عبارتی‌دیگر الگوهای مذکور پتانسیل بالقوهٔ همدیدی‌ـ دینامیکی لازم و کافی را برای رخداد بارش سنگین در منطقهٔ موردمطالعه مهیا نموده است. از سـوی دیگر قرارگیری استان لرستان در مسیر ورود توده‌های متعدد باران‌زای غربی و برخورداری از بارش‌های مداوم ناشی از این توده‌ها در اغلب ایام دورهٔ سردسال (اشباع بودن منطقه)، کوهستانی بودن منطقه و ناهمواری‌های همراه با دره‌های عمیق فشــرده و همگرا، نفوذپذیری بســیار کم منطقه به دلیل ســاختار خاص خود، شــکل‌گیری ســریع رواناب‌های سطحی و پتانسیل سیل‌خیزی استان لرستان را مضاعف نموده است.

کتابنامه

امیدوار، کمال؛ ۱۳۸٦. بررسی و تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۹. صص ۸۱ – ۹۸.https://www.sid.ir/paper/5402/fa

امیدوار، کمال؛ ۱۳۹۲. واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های ســنگین ناشــی از پدیده ســردچال جوی در نواحی مرکزی و جنوبغرب ایران. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۵. صص ۱ – ۱۹.

https://geoeh.um.ac.ir/article_26160.html

براتی، غلامرضــا؛ مرادی، محمد؛ صــابر، قربان؛ ۱۳۹۳. شــار رطوبت ســنگین‌ترین بارندگی زمســتانی در ایران مرکزی. پژوهش‌های دانش زمین. ۵ . صص ٦۰ – ۷۰.https://esrj.sbu.ac.ir/article_95343.html

پرنده خوزانی، اکرم؛ لشکری، حسن؛ ۱۳۹۰. بررسی سینوپتیکی بارش‌های سنگین در جنوب ایران (مطالعه موردی بارش ۳۱ دسامبر ۱۹۸٤ لغایت ٤ ژانویه ۱۹۸۵ حوضه آبریز رودخانه دالکی). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۲ (٤۱). صص ۱۲۳ – ۱۳٦.https://gep.ui.ac.ir/article_18489.html

حسینجانی، لیلا؛ ۱۳۸۳. شناسایی تیپ‌های هوای مؤثر بر بارش سواحل جنوبی خزر، استاد راهنما: دکتر بهلول – علیجانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت‌معلم. گروه اقلیم و برنامه‌ریزی محیطی.
https://elmnet.ir/article/10503981-96552

خوشحال دستجردی، جواد؛ ۱۳۷٦. تحلیل و ارائه مدل سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما: دکتر هوشنگ قائمی، پایان‌نامه دکتری. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیاhttps://elmnet.ir/article/2096737-6182.

رئیس پور، کوهزاد؛ خسروی، محمود؛ طاووسی، تقی؛ شریفی کیا، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی نقش سیستم‌های بریدهٔ کم‌فشار در شکل‌گیری گردوغبارهای فراگیر جنوب غرب ایران. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. کرمان.https://civilica.com/doc/209194

زند، مهران؛ سماعی، رنگینه؛ ۱۳۹٦. بررسی مقدار و شدت بارش‌های مولد سیل در حوضهٔ آبریز خرم‌آباد. مجله نیواز. ٤۱(۹٦)، صص ۱–۸.https://nivar.irimo.ir/article_44813.html

سعیدآبادی، رشید؛ آب خرابات، شعیب؛ نجفی، محمد سعید؛ ۱۳۹٤. موقعیت رودباد جبهه‌قطبی در ارتباط با بارش‌های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران. مجله محیط‌شناسی. ٤۱(٤)، صص ۷۸۳ –۷۹۸.
https://jes.ut.ac.ir/article_57132.html

شادمانی، ناهید؛ نصراصفهانی، محمدعلی؛ قاسمی، احمدرضا؛ ۱۳۹۷. تشخیص منابع تأمین رطوبت و مسیر دقیق حرکت توده‌های هوای مرطوب مؤثر بر بارش‌های سیل‌آسا در غرب و جنوب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۲(۲). صص ۵۰ – ٦۳. https://www.ijgeophysics.ir/article_63596.html

عزیزی، قاسم؛ نیری، معصومه؛ رستمی، شیما؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی بارش ۱٦ تا ۲٤ اسفند ۱۳۸۵). فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۱(٤). صص ۱ – ۱۳.
https://www.sid.ir/paper/185039/fa

عساکره، حسین؛ رزمی، رباب؛۱۳۹۰. اقلیم‌شناسی بارش شمال‌غرب ایران. جغرافیا و توسعه. ۲۵. صص۱۳۷ – ۱۵۸.
https://gdij.usb.ac.ir/article_514.html

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۵. اقلیم‌شناسی سینوپتیک. انتشارات سمت.

علیجانی، بهلول؛ خسروی، محمود؛ اسمعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۹. تحلیل همدید بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۱(۳). صص ۲ – ۱۷.
https://www.sid.ir/paper/213093/fa

فرج‌زاده، منوچهر؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ؛ مباشری، محمدرضا؛ ۱۳۸۸. چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران. مجله مدرس علوم انسانی. ۱۳ (۱). صص ۱۹۳– ۲۱۷.
https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-7869-fa.html

فرجی سبکبار، حسنعلی؛ حسن‌پور، سیروس؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۳. مقایسه کارآیی مدل‌های MCDM در مکان‌یابی پخش سیلاب در محیط GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ٤۹. صص ۱٦۷ – ۱۹۰.
https://www.sid.ir/paper/203626/fa

قشقایی، قاسم؛ ۱۳۷۵. بررسی اثر فرابار سیبری بر بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی دریای خزر. استاد راهنما دکتر بهلول علیجانی. استاد مشاور دکتر زهرا حجازی زاده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم. گروه جغرافیا.https://elmnet.ir/Article/10764754-71771

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. کاربرد شاخص‌های ناپایداری جوی برای آشکارسازی و تحلیل دینامیک توفان تندری روز ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز. مجله فضای جغرافیایی اهر. ۱۱(۳٤). صص ۱۸۲ – ۲۰۸.
https://www.sid.ir/paper/91677/fa

کرمپور، مصطفی؛ معصوم پور سماکوش، جعفر ؛ میری، مرتضی؛ ۱۳۹۲. بررسی الگوهای همدیدی بارش‌های سیل زا در استان لرستان. فصلنامه علمی ـ پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۳(٤۳). صص ۹۹ – ۱۱۳.
http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-660-fa.html

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همدیدی بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. مجله چشم‌انداز جغرافیایی. ٤(۱۰). صص ۷۲ – ۹٦.https://jshsp.rasht.iau.ir/article_523233.html

محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید بارش‌های ابر سنگین ایران. استاد راهنما. دکتر سید ابوالفضل مسعودیان و دکتر محمدرضا کاویانی. پایان‌نامه دکتری. دانشگاه اصفهان. دانشکده علوم انسانی. گروه جغرافیا.

محمدی، حسین؛ فتاحی، ابراهیم؛ شمسی پور، علی اکبر؛ اکبری، مهری؛ ۱۳۹۱. تحلیل دینامیکی سامانه‌های سودانی در رخداد بارش سنگین در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۲(۲٤). صص ۷ – ۲٤.
https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-3-15&sid=1&slc_lang=fa

مرادی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۳. نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم و فنون دریایی ایران. ۳(۲). صص ٦۹ – ۸۷.https://www.sid.ir/paper/74728/fa

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۵. اقلیم‌شناسی همدید و کاربرد آن در مطالعات محیطی. اصفهان. انتشارات دانشگاه اصفهان.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. شناسایی شرایط همدید همراه با بارش‌های ابر سنگین ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع ایران. ۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۷۸. دانشگاه تبریز.https://civilica.com/doc/50023

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان.

مصطفی‌زاده، رئوف؛ صفریان زنگیر، وحید؛ حاجی، خدیجه؛ ۱۳۹۷. تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در استان اردبیل. مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۱۵. صص۸۹-۱۰٦.
https://jneh.usb.ac.ir/article_3205.html

مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد؛ شفیعی شهاب؛ ۱۳۹٦. واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران.مجله جغرافیا و توسعه.۱۵(٤٦). صص ۱٦۹-۱۸٤.https://gdij.usb.ac.ir/article_3063.html

مفاخری، امید؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مهری؛ 1396. مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲۳. صص ۱۴۳-۱۶۲. https://geoeh.um.ac.ir/article_31596.html

مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ ۱۳۸٤. بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل زا در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۷۷. صص ۵۸ – ۷۷.
https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1021385.html

ملکی، احمد؛ حصادی، همایون؛ پیروزی نژاد، نوشین؛ ۱۳۹۲. برآورد مقادیر سیلاب و ارائه مدل سیل خیزی در حوضه آبخیز رازآور. جغرافیا و برنامه‌ریزی. ٤٦. صص ۱۹۷ – ۲۱۳.
https://journals.tabrizu.ac.ir/?_action=articleInfo&article=810&vol=1

نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی؛ مهدی نسب، مهدی؛۱۳۹۰. بررسی شدت سیل خیزی حوضه آبریز رودخانه کشکان لرستان، یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، تهران. https://civilica.com/doc/336446

نوری، حمید؛ غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل؛ آزادی، مجید؛ ۱۳۹۱. بررسی ابرهای مولد بارش‌های فوق سنگین و سنگین سواحل جنوبی خزر. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۳(٤۷). صص ٦٤ – ۷۸.
https://gep.ui.ac.ir/article_18551.html

Ahammed, F., Hewa, G.A., Argue, J.R., 2014. Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh, Journal of Atmospheric Research. 137.176-182. https:// doi.org/ 10.1016/ j.atmosres.2013.10.013

Cavalcanti, I.F.A., 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century, Journal of Atmospheric Research. 52. 27– 40. https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2012 .06. 012

Chen Chen, C., Lang Lin, Y., Ning, N., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the post-Mei-Yu period, Journal of Atmospheric Research. 101. 595 - 610. https:// doi.org/ 10.1016/ j. atmosres. 2011. 04. 004

Flynn, W. J., Nesbitt, S.W., Anders, A.M., Garg, P., 2019. Mesoscale precipitation characteristics near the Western Ghats during the Indian Summer Monsoon as simulated by a high-resolution 431 regional model. Journal of Meteorology. 143. 3070 - 3084. https:// doi.org/ 10.1002/qj.3163

Froude, M.J., Petley, D.N., 2018. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016, Journal of Natural Hazards Earth System Science.18. 2161-2181. https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018

Hand, W., Fox, N., Collier, C., 2004. A study of twentieth-century extreme rainfall events in the United Kingdom with implications for forecasting, Journal of Meteorology Applayed. 11. 15-31. https://doi.org/10.1017/S1350482703001117

Hellstrom, C., 2005. Atmospheric conditions during extreme and non-extreme recipitation events in Sweden, Int. Journal of Climatology. 25. 631-648. https://doi.org/10.1002/joc.1119

Krishna, K., 2008. Study of the Intensity of Super Cyclonic Storm GONU Using Satellite Observations, Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 112. 108-113. https://doi.org/10.1016/j.jag.2008.11.001

Kuldeep, S., Sushant, K., Raghavendra, A., Seanmilton., Ekkattil, N., 2019. Evaluation of Unified Model Rainfall Forecasts over the WesternGhats and North East states of India, Journal of Geoscince.65. 1-34. https://doi.org/10.5194/gmd-2019-65

Lana, A., Campins, J., Genov´es, A., Jans, A., 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, Journal of Advances in Geosciences. 12. 27-32. https:// doi.org/ 10.5194/ adgeo-12-27-2007

Lang, S., Zeng, X., Shige, S., Takayabu, Y., 2009. relating convective and strati form rain to latent heating, Journal of Climate. 247. 1847-1893. DOI: https:// doi.org/ 10.1175/ 2009JCLI3278.1

Lasat, M., Mart, F., Barrera. A., 2007. From the concept of "Kaltlufttropfen"cold air pool to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as example of their role in heavy rainfalls, Journal of Meteorology Atmosphric Physics. 96. 43-60. https://doi.org/10.1007/s00703-006-0220-9

Lenderink, G., Meijgaard, E., Selten, F., 2009. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006, from the perspective of a change climate, Journal of Climate Dynamic. 32. 19-33. https://doi.org/10.1007/s00382-008-0366-x

Liu, W., Zhang, M., Wang, S., Wang, B., Li, F., Che, Y., 2013. Changes in recipitation extremes over Shaanxi Province, northwestern China, during 1960–2011, Journal of Quaternary International. 313.118-129. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.06.033

Mannan, M.A., Chowdhury, M.A.M., Karmakar, S., 2013. Application of NWP model in prediction of heavy rainfall in Bangladesh, Journal of Procedia Engineering. 56. 667-675. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.176

Mohapatra, M., Mohanty, U., 2005. Some characteristics of very heavy rainfall over Orissa during Summer monsoon season, Journal of Earth System Science. 1141. 17-36. https://doi.org/10.1007/BF02702006

Muller,M., 2009. Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002, Journal of Natural Hazards and earth system Sciences. 9. 441-450. https://doi.org/10.5194/nhess-9-441-2009

Persson, P., Neiman, P., Walter, B., Bao, J.W., Ralph, F.M., 2005. Contributions from California coastal-zone surface fluxes to heavy coastal precipitation: a CALJET Case Study during the strong El Nin˜o of 1998. Journal of Monthly Weather Review. 133.1175-1198. https://doi.org/10.1175/MWR2910.1

Robert, P., Donald, J., Goseph, R., 1998. investigation of upper – air conditions occurring with heavey summer rain in Utah, Journal of International climatology, 187, 701-723. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980615)18:7

Rudari.R., Entekhabi, D., Roth, G., 2004, Large- scale atmospheric patterns associated with mesoscale features leading to extreme precipitation events in Northwestern Italy, Journal of Advances in Water Resources. 28. 601-614. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.10.017

Schuenemann, K.C., Cassano, J.J., Finnis, J., 2009. Synoptic forcing of precipitation over Greenland: Climatology for 1961-99, Journal of Hydrometeorology. 101. 60-78. DOI: https://doi.org/10.1175/2008JHM1014.1

Sen Roy, S., 2008. A special analysis of extreme hourly precipitation patterns in India, Journal of Climatology. 293. 345 - 355. https://doi.org/10.1002/joc.1763

Sharma,K., Ashrit, R., Bhatla, R., Mitra, A.K., Iyengar, G.R., Rajagopal, E.N., 2017.Skill of Predicting Heavy Rainfall Over India: Improvement in Recent Years Using UKMO Global Model. Journal of Applayed geophysics.174. 4241- 4250. https://doi.org/10.1007/s00024-017-1640-9

Sioutas, M.V., Flocas, H.A., 2003. Hailstorms in northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment, Journal of Theoretical Climatology. 75.189-202. https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-003-0734-8

Tripoli, G.J., Leung, W.Y., Mugnai, A., Smith, E.A., 2008. Impact of above-normal Mediterranean SSTs on heavy rain events, 10th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Plinius Conference Abstracts. Vol. 10. 108-123. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/2871/2013/

Webster, P., Holland, G., Curry, J., Chang H.R., 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, Journal of Science. 309. 1844-1853. https://www.science.org/doi/10.1126/science.1116448